

R. 305599

5 11.09.2003

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Gassensor und Verfahren zu dessen Herstellung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Gassensor und ein Verfahren zu dessen Herstellung.

15

Halbleitergassensoren zur Gasdetektion sind in unterschiedlichen Ausführungsformen bekannt. Diese Gassensoren werden in Sicherheitssystemen im industriellen Umfeld und auch in den letzten Jahren verstärkt im Automobilbereich eingesetzt, wo Gassensoren beispielsweise zur automatischen Steuerung der Lüftungsklappen verwendet werden, um das Eindringen von Schadgasen in den Innenraum zu verhindern.

20

Die bekannten Gassensoren weisen eine gassensitive Schicht auf, welche unter Beaufschlagung von reduzierenden oder oxidierenden Gasen eine Änderung der Oberflächenleitfähigkeit und damit des elektrischen Widerstands erfährt. Diese Widerstandsänderung wird mittels einer geeigneten Auswertestruktur als Messsignal ausgewertet. Die Betriebstemperatur eines solchen Gassensors, welche beispielsweise mehrere 100°C beträgt, wird über eine integrierte Heizstruktur erzeugt, welche vielfach in Form einer Mäander ausgebildet ist. Um die Betriebstemperatur des Gassensors einzustellen und zu überwachen, ist zumeist ein Temperaturmesswiderstand im Bereich der Heizstruktur vorgesehen.

25

30

Die gassensitive Schicht besteht in der Regel aus einem halbleitenden Metalloxid wie etwa SnO_2 oder WO_3 . Eine Beeinflussung der Selektivität für einzelne Gase ist durch eine Do-

tierung der gassensitiven Schicht mit entsprechenden Dotierstoffen und durch die Wahl der Betriebstemperatur möglich.

Da der spezifische Widerstand der gassensitiven Schicht sehr hoch ist, besteht die Auswertestruktur in der Regel aus einer Interdigitalstruktur (IDT; „Interdigitated Transducers“), welche zwei koplanare, kamm- oder fingerartig ineinandergreifende Elektroden aufweist. Diese Ausgestaltung entspricht einer Parallelschaltung der zwischen den einzelnen Fingern unterschiedlicher Polarität gebildeten Widerstände, wodurch der Messwiderstand verringert und die Empfindlichkeit des Gassensors gesteigert wird.

Die bekannten Gassensoren sind vielfach mikromechanisch auf der Basis eines Halbleitersubstrats hergestellte Membransensoren. Durch die Anordnung der Heizstruktur, der Auswertestruktur und der gassensitiven Schicht auf einer Membran wird die Wärmekapazität des Gesamtsystems verringert, was eine Reduzierung der Leistungsaufnahme des Gassensors mit sich bringt.

Bei der Herstellung eines derartigen Gassensors werden zunächst die Heizstruktur, die Auswertestruktur und gegebenenfalls ein Temperaturmesswiderstand im Bereich der Heizstruktur auf die Membran aufgebracht. Die Oberseite der Membran ist mit einer haftvermittelnden Schicht, in der Regel eine Oxidschicht, versehen, um eine zuverlässige Haftung dieser Strukturen auf der Membran zu gewährleisten. Nachfolgend wird eine Deckoxidschicht abgeschieden, diese durch eine Oxidätzung mit Hilfe einer Ätzlösung großflächig im Bereich der Auswertestruktur bis zur Oberfläche der Auswertestruktur entfernt und dann die gassensitive Schicht aufgebracht.

Um sicherzugehen, dass die gesamte Oberfläche der Auswertestruktur von dem Deckoxid freigelegt ist und damit eine ganzflächige Kontaktierung mit der gassensitiven Schicht erzielt wird, wird die Oxidätzung des Deckoxids in der Regel mit einer Überätzzeit durchgeführt. Hierbei besteht jedoch die Gefahr eines Unterätzens der Auswertestruktur, da die zur Oxidätzung eingesetzte Ätzlösung die haftvermittelnde Oxidschicht unterhalb der Auswertestruktur erreichen und diese Schicht zum Teil angreifen kann. Hierdurch wird die Haftung der Auswertestruktur auf der Membran verringert, so dass sich die Auswerte-

struktur im Verlauf der Einsatzzeit des Gassensors von der Membran teilweise ablösen kann und somit eine zuverlässige Funktionsweise nicht mehr gewährleistet ist.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass sich die Widerstandswerte der Auswertestruktur und insbesondere der Heizstruktur über die Einsatzzeit des Gassensors ändern können.

Diese schleichende Veränderung des Gassensors, welche auch als elektrischer „Drift“ bezeichnet wird, ist Folge einer thermischen Stresseinwirkung, da der Gassensor im Betrieb in einem permanenten Zyklus zwischen zwei Arbeitstemperaturen arbeitet. Hierdurch kommt es zu Materialumlagerungen innerhalb der Strukturen, beispielsweise zu einem Wandern von Korngrenzen oder einem Wachsen von Kristalliten, verbunden mit einer Widerstandsänderung. Die elektrische Drift tritt insbesondere bei im Automobilbereich eingesetzten Gassensoren auf, da hier die je nach Verwendung stark schwankenden Umgebungstemperaturen zwischen beispielsweise -30°C bis 150°C zusätzliche thermische Belastungen hervorrufen können.

Bei der Auswertestruktur, welche sehr hohe Widerstandswerte der gassensitiven Schicht beispielsweise im $\text{M}\Omega$ -Bereich misst, kann die Widerstandsänderung vernachlässigt werden. Gerade bei der Heizstruktur führt die Widerstandsänderung jedoch zu einer Veränderung der Heizleistung und damit der Betriebstemperatur des Gassensors. Ebenfalls betroffen von der Widerstandsänderung ist der im Bereich der Heizstruktur angeordnete Temperaturmesswiderstand, wodurch die exakte Temperatur des Gassensors nicht mehr bestimmt werden kann.

Infolgedessen verhindert die elektrische Drift eine zuverlässige stabile Funktionsweise über die Einsatzzeit der Gassensoren. Die Gassensoren könnten zwar in bestimmten Zeitabständen ersetzt oder einer Neukalibrierung unterzogen werden, was jedoch mit einem sehr hohen Aufwand verbunden ist. Insbesondere im Automobilbereich ist diese Vorgehensweise daher nicht praktikabel.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen verbesserten Gassensor, welcher sich durch eine zuverlässige Funktionsweise auszeichnet, und ein entsprechendes Verfahren zu dessen Herstellung bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch einen Gassensor gemäß den Ansprüchen 1 oder 3 bzw. durch ein Verfahren gemäß den Ansprüchen 10 oder 12 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

5 Erfindungsgemäß wird ein Gassensor der eingangs genannten Art mit einer auf einem Halbleitersubstrat ausgebildeten Membranschicht, auf der eine metallische Auswertestruktur in einem Auswertebereich und eine metallische Heizstruktur außerhalb des Auswertebereichs angeordnet sind, und mit einer über der Auswertestruktur und der Heizstruktur angeordneten gassensitiven Schicht vorgeschlagen, bei welchem die Heizstruktur auf einer haftvermittelnden Oxidschicht auf der Oberseite der Membranschicht angeordnet und durch eine Deckoxidschicht von der gassensitiven Schicht getrennt ist, wobei in dem Auswertebereich eine gegenüber einer Oxidätzung unempfindliche Haftvermittlerschicht zwischen der Membranschicht und der Auswertestruktur angeordnet ist.

10 15 Durch die Verwendung dieser Haftvermittlerschicht im Auswertebereich anstelle der herkömmlichen haftvermittelnden Oxidschicht lässt sich die Gefahr eines Unterätzens der Auswertestruktur bei der Oxidätzung der Deckoxidschicht während der Herstellung des Gassensors wirksam vermeiden, wodurch eine dauerhafte Haftung der Auswertestruktur auf der Membranschicht und damit eine zuverlässige Funktionsweise des Gassensors erzielt wird.

20 25 In der für die Praxis relevanten Ausführungsform ist die Haftvermittlerschicht entsprechend der Auswertestruktur strukturiert, um störende parallele Kriechströme über die Haftvermittlerschicht, welche beispielsweise bei Verwendung einer halbleitenden Haftvermittlerschicht auftreten, zu unterdrücken.

30 Erfindungsgemäß wird ferner ein Gassensor mit einer auf einem Halbleitersubstrat ausgebildeten Membranschicht, auf der eine metallische Auswertestruktur in einem Auswertebereich und eine metallische Heizstruktur außerhalb des Auswertebereichs angeordnet sind, und mit einer über der Auswertestruktur und der Heizstruktur angeordneten gassensitiven Schicht vorgeschlagen, bei welchem die Heizstruktur auf einer haftvermittelnden Oxidschicht auf der Oberseite der Membranschicht angeordnet und durch eine Deckoxidschicht von der gassensitiven Schicht getrennt ist, wobei die Auswertestruktur in dem Auswertebereich

reich entsprechend der Heizstruktur durch die Deckoxidschicht von der gassensitiven Schicht getrennt ist und die Deckoxidschicht Kontaktlöcher aufweist, welche jeweils einen mittleren Bereich der Oberfläche der Auswertestruktur freilegen, um einen direkten Kontakt zwischen der Auswertestruktur und der gassensitiven Schicht herzustellen.

5

Auch diese Ausgestaltung eines Gassensors gewährleistet eine zuverlässige Funktionsweise, da bei der Herstellung des Gassensors Kontaktlöcher in die Deckoxidschicht geätzt werden, welche jeweils nur einen mittleren Bereich der Oberfläche der Auswertestruktur freilegen, so dass die haftvermittelnde Oxidschicht unterhalb der Auswertestruktur bei dieser Oxidätzung der Deckoxidschicht nicht angegriffen wird und somit eine beständige Haftung der Auswertestruktur auf der Membranschicht erzielt wird.

10

Da die aufgebrauchte gassensitive Schicht bei der Herstellung des Gassensors einem Sinterprozess unterzogen werden kann und dabei insbesondere an den Übergangsbereichen zwischen der durch die Deckoxidschicht bedeckten und der über die Kontaktlöcher freigelegten Oberfläche der Auswertestruktur unterschiedliche thermomechanische Spannungen auftreten, welche Materialumlagerungen innerhalb der Auswertestruktur oder sogar ein teilweises Auseinanderreißen der Auswertestruktur hervorrufen können, besteht die Deckoxidschicht in einer bevorzugten Ausführungsform wenigstens in dem Auswertebereich der Auswertestruktur aus einem stöchiometrischen Oxid. Dieses stöchiometrische Oxid, welches eine schlechtere Anbindung an die Auswertestruktur aufweist als ein ein geringeren Sauerstoffanteil aufweisendes unterstöchiometrisches Oxid, koppelt eine geringe thermische Spannung in die Auswertestruktur ein, welche dadurch eine größere Bewegungsfreiheit aufweist, so dass Materialumlagerungen innerhalb der Auswertestruktur beim Sinterprozess in der Fläche weitgehend unbeeinflusst von statten gehen können.

15

20

25

30

Gemäß einer weiteren sehr bevorzugten Ausführungsform besteht die Deckoxidschicht wenigstens im Bereich der Heizstruktur und des optionalen Temperaturmesswiderstands aus einem unterstöchiometrischen Oxid, um eine relativ gute Anbindung der Deckoxidschicht an die Heizstruktur und den Temperaturmesswiderstand zu erzielen. Hierdurch wird das oben geschilderte Problem der elektrischen Drift der Heizstruktur und des Temperaturmesswiderstands vermieden, da die durch die thermische Stresseinwirkung im Betrieb des Gassensors hervorgerufenen Materialumlagerungen innerhalb der Heizstruktur und des

Temperaturmesswiderstands unterdrückt werden, wodurch eine stabile Funktionsweise über die Einsatzzeit des Gassensors ermöglicht wird.

Erfindungsgemäß wird weiter ein Verfahren zum Herstellen eines Gassensors vorgeschla-
5 gen, bei dem zunächst ein Halbleitersubstrat bereitgestellt, auf dessen Vorderseite eine Membranschicht aufgebracht und anschließend eine haftvermittelnde Oxidschicht auf der Oberseite der Membranschicht ausgebildet wird. Nachfolgend wird die haftvermittelnde Oxidschicht strukturiert, um einen oxidfreien Auswertebereich auf der Membran bereitzu-
10 stellen. Danach wird eine gegenüber einer Oxidätzung unempfindliche Haftvermittlerschicht auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats aufgebracht und diese außerhalb des Auswertebereichs entfernt. Als Nächstes erfolgt das Aufbringen einer Metallisierungsschicht auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats, welche außerhalb des Auswertebereichs auf der haftvermittelnden Oxidschicht in eine Heizstruktur und im Auswertebereich auf der Haftvermittlerschicht in eine Auswertestruktur strukturiert wird. Nachfolgend wird
15 eine Deckoxidschicht auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats aufgebracht und diese im Auswertebereich großflächig geätzt, um die Oberfläche der Auswertestruktur freizulegen. Danach wird die Rückseite des Halbleitersubstrats bis zur Erreichung der Membranschicht geätzt und abschließend eine gassensitive Schicht auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats aufgebracht.

20 Mit Hilfe dieses Verfahrens lässt sich der oben beschriebene Gassensor mit einer Haftvermittlerschicht im Auswertebereich herstellen. Durch die zusätzliche Haftvermittlerschicht wird ein Unterätzen der Auswertestruktur bei der Oxidätzung der Deckoxidschicht vermieden, wodurch eine dauerhafte Haftung der Auswertestruktur auf der Membranschicht und
25 damit eine zuverlässige Funktionsweise des Gassensors ermöglicht wird.

Erfindungsgemäß wird des weiteren ein Verfahren zum Herstellen eines Gassensors vorgeschlagen, bei dem zu Beginn ein Halbleitersubstrat bereitgestellt, auf dessen Vorderseite eine Membranschicht aufgebracht und anschließend eine haftvermittelnde Oxidschicht auf
30 der Oberseite der Membranschicht ausgebildet wird. Anschließend wird eine Metallisierungsschicht auf der haftvermittelnden Oxidschicht aufgebracht und diese danach in eine Heizstruktur und eine Auswertestruktur strukturiert. Als Nächstes erfolgt das Aufbringen einer Deckoxidschicht auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats. Danach werden in die

Deckoxidschicht Kontaktlöcher geätzt, welche jeweils einen mittleren Bereich der Oberfläche der Auswertestruktur freilegen. Danach wird die Rückseite des Halbleitersubstrats bis zur Erreichung der Membranschicht geätzt und abschließend eine gassensitive Schicht auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats aufgebracht.

5

Dieses Verfahren ermöglicht das Herstellen des oben beschriebenen Gassensors mit Kontaktlöchern in der Deckoxidschicht. Da die Kontaktlöcher derart geätzt werden, dass diese jeweils nur einen mittleren Bereich der Oberfläche der Auswertestruktur freilegen und die seitlichen Bereiche der Auswertestruktur weiterhin von der Deckoxidschicht bedeckt sind, wird ein Anätzen der unterhalb der Auswertestruktur befindlichen haftvermittelnden Oxidschicht vermieden, wodurch sich wiederum eine beständige Haftung der Auswertestruktur auf der Membranschicht und damit eine zuverlässige Funktionsweise des Gassensors ergibt.

10

15 In einer bevorzugten Ausführungsform wird die gassensitive Schicht in pastöser Form aufgebracht und anschließend gesintert. In die zunächst in pastöser Form vorliegende gassensitive Schicht können vorab gezielt unterschiedliche Dotierstoffe eingebracht werden, um die Selektivität für einzelne Gase einzustellen.

20 Die Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine schematische Darstellung eines Gassensors in einer Aufsicht,
- Figur 2 ein Schnittbild einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gassensors,
- Figur 3 ein Schnittbild einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gassensors, und
- Figur 4 ein Schnittbild einer dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gassensors.

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung der Strukturen eines vom Stand der Technik her bekannten Gassensors 1 in einer Aufsicht. Der Gassensor 1 weist außen eine im wesentlichen kreisförmige mäanderartig ausgebildete metallische Heizstruktur 9 auf, welche über Zuleitungen 15 mit elektrischer Energie versorgt werden kann. Innerhalb der Heizstruktur 9 ist eine kreisförmig begrenzte metallische Auswertestruktur 7 angeordnet, bei

25

der ebenfalls elektrische Zuleitungen 14 vorgesehen sind. Diese Strukturen 7, 9 sind auf einer nicht dargestellten Membranschicht auf einem Halbleitersubstrat angeordnet, wodurch die Wärmekapazität des Gesamtsystems und damit die Leistungsaufnahme des Gassensors 1 verringert wird.

5

Auf der Heizstruktur 9 und der Auswertestruktur 7 ist eine in Figur 1 nicht dargestellte gassensitive Schicht aufgebracht, welche im wesentlichen die gesamte von der Heizstruktur 9 begrenzte Fläche abdeckt. Die gassensitive Schicht, welche über die Heizstruktur 9 auf eine Betriebstemperatur von mehreren hundert Grad Celsius aufgeheizt werden kann, ändert ihren Widerstand bei Beaufschlagung mit reduzierenden oder oxidierenden Gasen. Diese Widerstandsänderung wird als Messsignal von der Auswertestruktur 7 ausgewertet.

10

Da die gassensitive Schicht in der Regel einen sehr hohen Widerstand aufweist, ist die Auswertestruktur 7 als Interdigitalstruktur mit zwei koplanaren fingerartig ineinandergreifenden Elektroden ausgebildet. Diese Ausgestaltung entspricht einer Parallelschaltung der zwischen den einzelnen Elektrodenfingern unterschiedlicher Polarität gebildeten Widerstände, wodurch der Messwiderstand der gassensitiven Schicht verringert und die Empfindlichkeit des Gassensors 1 erhöht wird.

15

Um eine ausreichende Haftung der Heizstruktur 9, der Auswertestruktur 7 und der Zuleitungen 14, 15 auf der Membranschicht zu gewährleisten, ist die Oberfläche der Membranschicht mit einer haftvermittelnden Oxidschicht versehen. Zur Isolierung der Heizstruktur 9 ist zwischen der Heizstruktur 9 und der gassensitiven Schicht eine Deckoxidschicht ausgebildet, welche sich weiter auch auf den Zuleitungen 14, 15 bis zu nicht dargestellten Kontaktierungs- oder Bondflächen der Zuleitungen 14, 15 erstreckt. Bei der Herstellung des Gassensors 1 wird diese Deckoxidschicht in der Regel im Rahmen eines CVD-Abscheideprozesses („Chemical vapour deposition“) ganzflächig auf die bereits auf der Membranschicht strukturierte Heizstruktur 9 und Auswertestruktur 7 sowie die Zuleitungen 14, 15 aufgebracht. Nachfolgend wird die Deckoxidschicht in einem Auswertebereich 8, in Figur 1 durch den gestrichelten Kreis gekennzeichnet, ganzflächig von der Oberfläche der Auswertestruktur 7 entfernt, um eine Kontaktierung der Auswertestruktur 7 mit der später aufgetragenen gassensitiven Schicht zu ermöglichen.

25

30

Das Entfernen erfolgt in der Regel mittels eines nasschemischen Ätzprozesses, bei dem beispielsweise Flusssäure als Ätzlösung eingesetzt wird. Da die aufgebrachte Deckoxidschicht bedingt durch Abscheideinhomogenitäten an unterschiedlichen Stellen unterschiedliche Dicken aufweisen kann, wird der Ätzprozess zumeist mit einer Überätzzeit durchgeführt, um zu gewährleisten, dass die gesamte Oberfläche der Auswertestruktur 7 in dem Auswertebereich 8 von dem Deckoxid freigelegt wird.

Das Ansetzen einer Überätzzeit birgt jedoch die Gefahr eines Unterätzens der Auswertestruktur 7, da die eingesetzte Ätzlösung über die Bereiche zwischen den Elektrodenfingern die haftvermittelnde Oxidschicht unterhalb der Auswertestruktur 7 erreichen und diese Schicht zum Teil angreifen kann. Dadurch wird die Haftung der Auswertestruktur 7 auf der Membranschicht verringert, so dass sich die Auswertestruktur 7 im Verlauf der Einsatzzeit des Gassensors 1 von dieser ablösen kann und somit eine zuverlässige Funktionsweise des Gassensors 1 nicht mehr sichergestellt ist. Um die Gefahr des Unterätzens der Auswertestruktur 7 zu vermeiden, existieren unterschiedliche erfindungsgemäße Ausführungen eines Gassensors, welche anhand der folgenden Figuren erläutert werden.

Figur 2 zeigt ein Schnittbild einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gassensors. Der Gassensor 1a weist ein beispielsweise aus Silizium bestehendes Halbleitersubstrat 2 mit einer Aushöhlung 21 auf, auf welchem eine Membranschicht 3 angeordnet ist. Die Membranschicht 3 ist als Schichtenfolge einer an das Halbleitersubstrat 2 angrenzenden Oxidschicht 4 und einer Nitridschicht 5 ausgebildet und weist außerhalb eines Auswertebereichs 8 auf der Oberseite eine haftvermittelnde Oxidschicht 6 auf.

Auf der haftvermittelnden Oxidschicht 6 ist eine metallische Heizstruktur 9 sowie im Bereich der Heizstruktur 9 ein in Figur 2 nicht dargestellter Temperaturmesswiderstand angeordnet. Auf der Heizstruktur 9 und dem Temperaturmesswiderstand befindet sich weiter eine Deckoxidschicht 11 zur Isolierung. Innerhalb des Auswertebereichs 8 ist eine als Interdigitalstruktur ausgebildete metallische Auswertestruktur 7 mit Elektrodenfingern angeordnet. Auf diese Strukturen ist eine gassensitive Schicht 10 aufgebracht, welche von der Heizstruktur 9 beheizbar und deren elektrischer Widerstand von der Auswertestruktur 7 auswertbar ist. Mit Hilfe des Temperaturmesswiderstands und eines ebenfalls in Figur 2

nicht dargestellten auf dem massiven Substrat 2 angeordneten Referenzwiderstands lässt sich die Betriebstemperatur des Gassensors 1a überwachen.

Als Material für die metallischen Strukturen, die Auswertestruktur 7, die Heizstruktur 9 und den Temperaturmesswiderstand wird vorzugsweise Platin eingesetzt. Dieses Material zeichnet sich durch einen hohen Temperaturkoeffizienten des Widerstands aus, wodurch einerseits die Heizleistung der Heizstruktur 9 gut einstellbar als auch die Temperatur des Gassensors 1a über den Temperaturmesswiderstand mit einer hohen Genauigkeit messbar ist. Zudem handelt es sich bei Platin um ein inertes Material mit einer hohen chemischen Stabilität.

Im Unterschied zu einem vom Stand der Technik her bekannten Gassensor ist die Auswertestruktur 7 auf einer gegenüber einer Oxidätzung unempfindlichen Haftvermittlerschicht 13 angeordnet. Diese Haftvermittlerschicht 13, welche beispielsweise aus Silizium besteht, ist entsprechend der Auswertestruktur 7 strukturiert, um störende Kriechströme zwischen den einzelnen Elektrodenfingern der Auswertestruktur 7 zu vermeiden.

Anhand des nachfolgend geschilderten erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens dieses Gassensors 1a lässt sich die vorteilhafte Wirkung der Haftvermittlerschicht 13 erläutern. Zu Beginn wird das Halbleitersubstrat 2 bereit gestellt und auf dessen Vorderseite die Oxidschicht 4 und die Nitridschicht 5 zur Bildung der Membranschicht 3 aufgebracht. Die Oxidschicht 4 kann hierbei beispielsweise durch eine thermische Oxidation des Halbleiterwafers 2 erzeugt und die Nitridschicht 5 mit Hilfe eines CVD-Abscheideverfahrens aufgebracht werden. Anschließend wird die haftvermittelnde Oxidschicht 6 ganzflächig auf der Oberseite der Membranschicht 3 ausgebildet, was durch eine als Reoxidation bezeichnete oberflächliche thermische Umwandlung der Nitridschicht 5 oder eine CVD-Oxidabscheidung möglich ist.

Die haftvermittelnde Oxidschicht 6 wird nachfolgend mittels einer Oxidätzung derart strukturiert, dass der oxidfreie Auswertebereich 8 auf der Membranschicht 3 bereitgestellt wird. Als nächstes wird die gegenüber einer Oxidätzung unempfindliche Haftvermittlerschicht 13 ganzflächig auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats 2 aufgebracht, außerhalb des Auswertebereichs 8 entfernt und innerhalb des Auswertebereichs 8 entsprechend der

später ausgebildeten Auswertestruktur 7 strukturiert, was beispielsweise mit Hilfe eines Ionenstrahlätzprozesses durchgeführt werden kann.

5 Anschließend wird eine Metallisierungsschicht ganzflächig auf die Vorderseite des Halbleitersubstrats 2 aufgebracht und diese in die Heizstruktur 9 und den Temperaturmesswiderstand außerhalb des Auswertebereichs 8 und in die Auswertestruktur 7 innerhalb des Auswertebereichs 8 strukturiert. Das Strukturieren kann wiederum mittels eines Ionenstrahlätzprozesses durchgeführt werden. Danach wird die Deckoxidschicht 11 ganzflächig über einen CVD-Abscheideprozess auf die Vorderseite des Halbleitersubstrats 2 aufgebracht.

10 Um die Oberfläche der Auswertestruktur 7 freizulegen wird die Deckoxidschicht 11 nachfolgend durch einen nasschemischen Ätzprozess beispielsweise mit Flusssäure als Ätzlösung großflächig im Auswertebereich 8 entfernt. Da die Auswertestruktur 7 auf der gegenüber dieser Oxidätzung unempfindlichen Haftvermittlerschicht 13 angeordnet ist, wird die Gefahr eines Unterätzens der Auswertestruktur 7 vermieden. Auch tritt kein Unterätzen der Haftvermittlerschicht 13 auf, wenn wie in Figur 2 dargestellt die gesamte Deckoxidschicht 11 bis zur Nitridschicht 5 der Membranschicht 3 weggeätzt wird, da die Nitridschicht 5 ebenfalls unempfindlich gegenüber der nasschemischen Oxidätzung ist. Der Einsatz der Haftvermittlerschicht 13 führt folglich zu einer sicheren Haftung der Auswertestruktur 7 auf der Membranschicht 3 und begünstigt damit eine zuverlässige Funktionsweise des Gassensors 1a.

25 Im darauffolgenden Verfahrensschritt wird die Rückseite des Halbleitersubstrats 2 beispielsweise mit Hilfe von Kalilauge bis zur Erreichung der Membranschicht 3 geätzt, so dass die Aushöhlung 21 entsteht. Die Oxidschicht 4, welche eine gegenüber dem Halbleitersubstrat 2 stark reduzierte Ätzrate aufweist, fungiert hierbei als Ätzstopp, auf welchem der Ätzvorgang gezielt gestoppt werden kann. Abschließend wird die gassensitive Schicht 10 auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats 2 erzeugt. Die gassensitive Schicht 10 wird dabei zunächst in pastöser Form, beispielsweise mit Hilfe eines Siebdruck- oder Dispensverfahrens, aufgebracht und anschließend gesintert. Die gassensitive Schicht 10 kann Do-
30 tierstoffe enthalten, wodurch der Gassensor 1a zum Nachweis spezifischer Gase sensitiv

ist. Möglich ist es auch, die gassensitive Schicht per Sputter – oder CVD-Verfahren aufzubringen und optional zu sintern.

Alternativ können Abwandlungen des beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen des in Figur 2 dargestellten erfindungsgemäßen Gassensors 1a durchgeführt werden. Beispielsweise ist es möglich, die ganzflächig auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats 2 aufgebrachte Haftvermittlerschicht 13 zunächst nur außerhalb des Auswertebereichs 8 zu entfernen und dann gleichzeitig mit der Auswertestruktur 7 zu strukturieren. Auch ist es möglich, die gassensitive Schicht 10 vor dem Rückseitenätzen des Halbleitersubstrats 2 aufzubringen, sofern die gassensitive Schicht 10 sicher vor einem Ätzangriff geschützt wird.

Das vom Stand der Technik her bekannte Problem des Unterätzens der Auswertestruktur 7 beim Herstellungsverfahren kann weiter durch die in Figur 3 dargestellte zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gassensors vermieden werden. Bei diesem Gassensor 1b ist im Unterschied zu dem in Figur 2 dargestellten Gassensor 1a die haftvermittelnde Oxidschicht 6 auf der Oberseite der Membranschicht 3 nicht strukturiert und befindet sich weiterhin im Auswertebereich 8 unterhalb der Auswertestruktur 7. Auch die Deckoxidschicht 11 erstreckt sich über den Auswertebereich 8 und weist Kontaktlöcher 12 auf, welche jeweils nur einen mittleren Bereich der Oberfläche der Auswertestruktur 7 freilegen.

Bei der Herstellung dieses Gassensors 1b wird nach dem Aufbringen der aus der Oxidschicht 4 und der Nitridschicht 5 gebildeten Membranschicht 3 auf das bereitgestellte Halbleitersubstrat 2 und dem Ausbilden der haftvermittelnden Oxidschicht 6 auf der Oberseite der Membranschicht 3 wiederum eine Metallisierungsschicht abgeschieden und diese entsprechend in die Heizstruktur 9, die Auswertestruktur 7 und den Temperaturmesswiderstand strukturiert.

Nachfolgend wird die Deckoxidschicht 11 ganzflächig auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats 2 abgeschieden. Mit Hilfe eines nasschemischen Ätzprozesses werden anschließend die Kontaktlöcher 12 in die Deckoxidschicht 11 geätzt, welche jeweils nur einen mittleren Bereich der Oberfläche der Auswertestruktur 7 freilegen, so dass die Oberflächen der Elektrodenfinger der Auswertestruktur 7 an den Seiten weiterhin mit der Deckoxid-

schicht 11 bedeckt sind. Hierdurch wird vermieden, dass die bei der Oxidätzung eingesetzte Ätzlösung die haftvermittelnde Oxidschicht 6 unterhalb der Auswertestruktur 7 erreicht und diese angreift, so dass wiederum eine sichere Haftung der Auswertestruktur 7 auf der Membranschicht 3 erzielt wird. Abschließend werden bei diesem Gassensor 1b entsprechend das Rückseitenätzen des Halbleitersubstrats 2 und das Aufbringen der gassensitiven Schicht 10 auf die Vorderseite des Halbleitersubstrats 2 durchgeführt, wobei die gassensitive Schicht 10 auch in die Kontaktlöcher 12 eingebracht wird.

Der in Figur 3 dargestellte erfindungsgemäße Gassensor 1b hat gegenüber dem in Figur 2 dargestellten erfindungsgemäßen Gassensor 1a den Nachteil, dass sich aufgrund von Justagetoleranzen zwischen den für die Strukturierung der Auswertestruktur 7 und für das Ätzen der Kontaktlöcher 12 benötigten Masken nur größere Abstände zwischen den einzelnen Elektrodenfingern der Auswertestruktur 7 realisieren lassen, wodurch der Gassensor 1b weniger empfindlich ist. Denn je größer der Abstand zwischen den einzelnen Elektrodenfingern ist, desto größer ist der Messwiderstand, da einerseits der zwischen den Elektrodenfingern gemessene längenabhängige Widerstand größer wird als auch andererseits weniger Elektrodenfinger und damit weniger Parallelschaltungen auf einer gegebenen Fläche realisiert werden können.

Das Problem der elektrischen Drift ist die Folge einer thermomechanischen Stresseinwirkung, da die Gassensoren 1a, 1b im Betrieb in einem permanenten Zyklus zwischen Umgebungstemperatur und Betriebstemperatur arbeiten, wodurch es zu Materialumlagerungen innerhalb der metallischen Strukturen verbunden mit Widerstandsänderungen kommen kann.

Bei der Auswertestruktur 7 kann die hieraus resultierende Widerstandsänderung aufgrund des hohen Messwiderstands der gassensitiven Schicht 10 wiederum vernachlässigt werden. Bei der Heizstruktur 9, welche einen Widerstand beispielsweise im Ω -bereich aufweist, kann die Widerstandsänderung jedoch zu einer deutlichen Veränderung der Heizleistung und damit der Betriebstemperatur der Gassensoren 1a, 1b führen. Dies gilt entsprechend für den im Bereich der Heizstruktur 9 angeordneten Temperaturmesswiderstand, wodurch die exakte Temperatur der Gassensoren 1a, 1b nicht mehr bestimmt werden kann und so-

mit eine zuverlässige stabile Funktionsweise über die Einsatzzeit der Gassensoren 1a, 1b nicht mehr gewährleistet ist.

- 5 Das Problem der elektrischen Drift ist bei der in Figur 4 dargestellten dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gassensors, welche auf der in Figur 3 dargestellten Ausführungsform aufbaut, weitgehend unterdrückt.

10 Bei diesem Gassensor 1c wird eine zweilagige Deckoxidschicht 11 eingesetzt, welche im Bereich der driftempfindlichen Heizstruktur 9, des Temperaturmesswiderstands und deren elektrischen Zuleitungen aus einer unterstöchiometrischen Oxidschicht 11a besteht, im Falle einer Silizium-Deckoxidschicht also aus einem siliziumreichen Oxid, über welcher eine eher stöchiometrische Oxidschicht 11b angeordnet ist. Diese Deckoxidschicht 11 könnte beispielsweise durch ganzflächiges Abscheiden der unterstöchiometrischen Oxidschicht 11a auf die Oberseite der Membranschicht 3 mit den bereits ausgebildeten metallischen Strukturen, anschließendes Strukturieren der unterstöchiometrischen Oxidschicht 15 11a und nachfolgendes ganzflächiges Abscheiden der stöchiometrischen Oxidschicht 11b erzeugt werden. Das Aufbringen der beiden Oxidschichten 11a, 11b ist wiederum mit Hilfe von CVD-Abscheideverfahren möglich.

- 20 Die unterstöchiometrische Oxidschicht 11a zeichnet sich durch eine relativ gute Anbindung an die Heizstruktur 9 und den Temperaturmesswiderstand aus, wodurch Materialumlagerungen aufgrund von thermischer Stresseinwirkung innerhalb der Heizstruktur 9 und des Temperaturmesswiderstands einhergehend mit Widerstandsänderungen unterdrückt werden. Infolgedessen wird eine stabile Funktionsweise über die Einsatzzeit des 25 Gassensors 1c ermöglicht.

Die auf die unterstöchiometrische Oxidschicht 11a und auch auf die Auswertestruktur 7 aufgebraute stöchiometrische Oxidschicht 11b, welche entsprechend der in Figur 3 dargestellten Ausführungsform mit Kontaktlöchern 12 versehen ist, erweist sich als sehr günstig 30 für die Auswertestruktur 7 beim Sinterprozess der gassensitiven Schicht 10. Aufgrund der bei diesem Prozess vorherrschenden hohen Temperaturen treten an den Übergangsbereichen zwischen der durch die Deckoxidschicht 11 bedeckten und der über die Kontaktlöcher 12 freigelegten Oberfläche der Auswertestruktur 7 unterschiedliche thermomechani-

sche Spannungen auf, welche Materialumlagerungen innerhalb der Auswertestruktur 7 hervorrufen können. Die stöchiometrische Oxidschicht 11b, welche eine schlechtere Anbindung an die Auswertestruktur 7 aufweist als eine aus einem unterstöchiometrischen Oxid bestehende Schicht, koppelt folglich eine geringe thermische Spannung in die Auswertestruktur 7 ein, so dass bei einem Sinterprozess Materialumlagerungen innerhalb der Auswertestruktur 7 als weniger kritisch angesehen werden können:

An Stelle der beschriebenen Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Gassensors sind Ausführungsformen vorstellbar, die weitere Kombinationen der in den Figuren 2 bis 4 dargestellten Ausführungsformen darstellen. Beispielsweise könnte bei dem in Figur 2 dargestellten Gassensor 1a die Deckoxidschicht 11 als unterstöchiometrische Oxidschicht ausgebildet sein, um die elektrische Drift bei der Heizstruktur 9 und dem Temperaturmesswiderstand zu vermeiden.

Generell ist es sinnvoll, bei einem Gassensor die driftempfindlichen metallischen Strukturen mit einer unterstöchiometrischen Oxidschicht abzudecken und an den Übergangsbereichen zwischen bedeckten und freiliegenden Oberflächen der Strukturen ein stöchiometrisches Oxid zu verwenden, um die Sinterfestigkeit zu erhöhen. Dies gilt beispielsweise auch für die Zuleitungen der metallischen Strukturen, bei welchen der Einsatz eines stöchiometrischen Deckoxids angrenzend an die nichtabgedeckten Kontaktierungsflächen vorteilhaft ist.

Das anhand von Figur 4 offenbarte Merkmal, eine unterstöchiometrische Oxidschicht als Deckoxidschicht für driftempfindliche Strukturen einzusetzen, kann auch als eigenständiges Merkmal eines Gassensors realisiert sein. Möglich ist es auch, dieses Merkmal bei anderen Sensoren wie beispielsweise Luftmassensensoren zu verwirklichen.

Patentansprüche

1. Gassensor mit einer auf einem Halbleitersubstrat (2) ausgebildeten Membranschicht (3), auf der eine metallische Auswertestruktur (7) in einem Auswertebereich (8) und
5 eine metallische Heizstruktur (9) außerhalb des Auswertebereichs (8) angeordnet sind, und mit einer über der Auswertestruktur (7) und der Heizstruktur (9) angeordneten gassensitiven Schicht (10), wobei die gassensitive Schicht (10) von der Heizstruktur (9) beheizbar und der elektrische Widerstand der gassensitiven Schicht (10) von der Auswertestruktur (7) auswertbar ist und wobei die Heizstruktur (9) auf einer haftvermittelnden Oxidschicht (6) auf der Oberseite der Membranschicht (3) angeordnet und
10 durch eine Deckoxidschicht (11) von der gassensitiven Schicht (10) getrennt ist, **dadurch gekennzeichnet,**
dass in dem Auswertebereich (8) eine gegenüber einer Oxidätzung unempfindliche Haftvermittlerschicht (13) zwischen der Membranschicht (3) und der Auswertestruktur
15 (7) angeordnet ist.
2. Gassensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Haftvermittlerschicht (13) entsprechend der Auswertestruktur (7) strukturiert ist.
- 20 3. Gassensor mit einer auf einem Halbleitersubstrat (2) ausgebildeten Membranschicht (3), auf der eine metallische Auswertestruktur (7) in einem Auswertebereich (8) und eine metallische Heizstruktur (9) außerhalb des Auswertebereichs (8) angeordnet sind, und mit einer über der Auswertestruktur (7) und der Heizstruktur (9) angeordneten gassensitiven Schicht (10), wobei die gassensitive Schicht (10) von der Heizstruktur (9) beheizbar und der elektrische Widerstand der gassensitiven Schicht (10) von der Auswertestruktur (7) auswertbar ist und wobei die Heizstruktur (9) auf einer haftvermittelnden Oxidschicht (6) auf der Oberseite der Membranschicht (3) angeordnet und durch eine Deckoxidschicht (11) von der gassensitiven Schicht getrennt ist,
25 **dadurch gekennzeichnet,**
30 dass die Auswertestruktur (7) in dem Auswertebereich (8) entsprechend der Heizstruktur (9) durch die Deckoxidschicht (11) von der gassensitiven Schicht (10) getrennt ist, wobei die Deckoxidschicht (11) Kontaktlöcher (12) aufweist, welche jeweils einen mittleren Bereich der Oberfläche der Auswertestruktur (7) freilegen, um einen

direkten Kontakt zwischen der Auswertestruktur (7) und der gassensitiven Schicht (10) herzustellen.

4. Gassensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Deckoxidschicht (11)
wenigstens in dem Auswertebereich (8) der Auswertestruktur (7) aus einem stöchiometrischen Oxid besteht.
5. Gassensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Deckoxidschicht (11) wenigstens im Bereich der Heizstruktur (9) aus einem unterstöchiometrischen Oxid besteht, um eine relativ gute Anbindung der Deckoxidschicht (11) an die Heizstruktur (9) zu erzielen.
6. Gassensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Membranschicht (3) von einer Nitridschicht (5) gebildet wird, welche vorzugsweise eine an das Halbleitersubstrat (2) angrenzende Oxidschicht (4) aufweist.
7. Gassensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Temperaturmesswiderstand auf der haftvermittelnden Oxidschicht (6) im Bereich der Heizstruktur (9) vorgesehen ist.
8. Gassensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertestruktur (7), die Heizstruktur (9) und der Temperaturmesswiderstand aus dem gleichen metallischen Material, vorzugsweise Platin, bestehen.
9. Gassensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertestruktur (7) als Interdigitalstruktur mit zwei koplanaren, fingerartig ineinander greifenden Elektroden ausgebildet ist.
10. Verfahren zum Herstellen eines Gassensors **gekennzeichnet** durch die folgenden Verfahrensschritte:
 - a) Bereitstellen eines Halbleitersubstrats (2);
 - b) Aufbringen einer Membranschicht (3) auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats (2);

c) Ausbilden einer haftvermittelnden Oxidschicht (6) auf der Oberseite der Membranschicht (3);

d) Strukturieren der haftvermittelnden Oxidschicht (6), um einen oxidfreien Auswertebereich (8) auf der Membranschicht (3) bereitzustellen;

5 e) Aufbringen einer gegenüber einer Oxidätzung unempfindlichen Haftvermittlerschicht (13) auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats (2);

f) Entfernen der Haftvermittlerschicht (13) außerhalb des Auswertebereichs (8);

g) Aufbringen einer Metallisierungsschicht auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats (2);

10 h) Strukturieren einer Heizstruktur (9) außerhalb des Auswertebereichs (8) auf der haftvermittelnden Oxidschicht (6) und einer Auswertestruktur (7) im Auswertebereich (8) auf der Haftvermittlerschicht (13);

i) Aufbringen einer Deckoxidschicht (11) auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats (2);

15 j) Großflächiges Oxidätzen der Deckoxidschicht (11) im Auswertebereich (8), um die Oberfläche der Auswertestruktur (7) freizulegen;

k) Ätzen der Rückseite des Halbleitersubstrats (2) bis zur Erreichung der Membranschicht (3); und

20 l) Aufbringen einer gassensitiven Schicht (10) auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats (2).

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Haftvermittlerschicht (13) zusätzlich entsprechend der Auswertestruktur (7) strukturiert wird.

25 12. Verfahren zum Herstellen eines Gassensors **gekennzeichnet** durch die folgenden Verfahrensschritte:

a) Bereitstellen eines Halbleitersubstrats (2);

b) Aufbringen einer Membranschicht (3) auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats (2);

30 c) Ausbilden einer haftvermittelnden Oxidschicht (6) auf der Oberseite der Membranschicht (3);

d) Aufbringen einer Metallisierungsschicht auf der haftvermittelnden Oxidschicht (6);

e) Strukturieren einer Heizstruktur (9) und einer Auswertestruktur (7);

f) Aufbringen einer Deckoxidschicht (11) auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats (2);

g) Oxidätzen von Kontaktlöchern (12) in die Deckoxidschicht (11), welche jeweils einen mittleren Bereich der Oberfläche der Auswertestruktur (7) freilegen;

5 h) Ätzen der Rückseite des Halbleitersubstrats (2) bis zur Erreichung der Membranschicht (3); und

i) Aufbringen einer gassensitiven Schicht (10) auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats (2).

10 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Deckoxidschicht (11) wenigstens im Auswertebereich (8) aus einer stöchiometrischen Oxidschicht (11b) besteht.

15 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Deckoxidschicht (11) wenigstens im Bereich der Heizstruktur (9) aus einer unterstöchiometrischen Oxidschicht (11a) besteht, um eine relativ gute Anbindung der Deckoxidschicht (11) an die Heizstruktur (9) zu erzielen.

20 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Membranschicht (3) von einer Nitridschicht (5) gebildet wird, welche vorzugsweise eine an das Halbleitersubstrat (2) angrenzende Oxidschicht (4) aufweist.

25 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass ein Temperaturmesswiderstand auf der haftvermittelnden Oxidschicht (6) im Bereich der Heizstruktur (9) strukturiert wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die gassensitive Schicht (10) in pastöser Form aufgebracht und anschließend gesintert wird.

30 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die gassensitive Schicht per Sputter – oder CVD-Verfahren aufgebracht und optional gesintert wird.

Zusammenfassung

Gassensor und Verfahren zu dessen Herstellung

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Gassensor mit einer auf einem Halbleitersubstrat 2 ausgebildeten Membranschicht 3, auf der eine Auswertestruktur 7 in einem Auswertebereich 8 und eine Heizstruktur 9 außerhalb des Auswertebereichs 8 angeordnet sind, und mit einer über der Auswertestruktur 7 und der Heizstruktur 9 angeordneten gassensitiven Schicht 10, wobei die gassensitive Schicht 10 von der Heizstruktur 9 beheizbar und der elektrische Widerstand der gassensitiven Schicht 10 von der Auswertestruktur 7 auswertbar ist und wobei die Heizstruktur 9 auf einer haftvermittelnden Oxidschicht 6 auf der Oberseite der Membranschicht 3 angeordnet und durch eine Deckoxidschicht 11 von der gassensitiven Schicht getrennt ist. Um eine zuverlässige Funktionsweise zu ermöglichen, ist bei dem Gassensor vorgesehen, dass in dem Auswertebereich 8 eine gegenüber einer Oxidätzung unempfindliche Haftvermittlerschicht 13 zwischen der Membranschicht 3 und der Auswertestruktur 7 angeordnet ist oder dass die Auswertestruktur 7 in dem Auswertebereich 8 entsprechend der Heizstruktur 9 durch die Deckoxidschicht 11 von der gassensitiven Schicht 10 getrennt ist, wobei die Deckoxidschicht 11 Kontaktlöcher 12 aufweist, welche jeweils einen mittleren Bereich der Oberfläche der Auswertestruktur 7 freilegen, um einen direkten Kontakt zwischen der Auswertestruktur 7 und der gassensitiven Schicht 10 herzustellen.

(Figur 1)

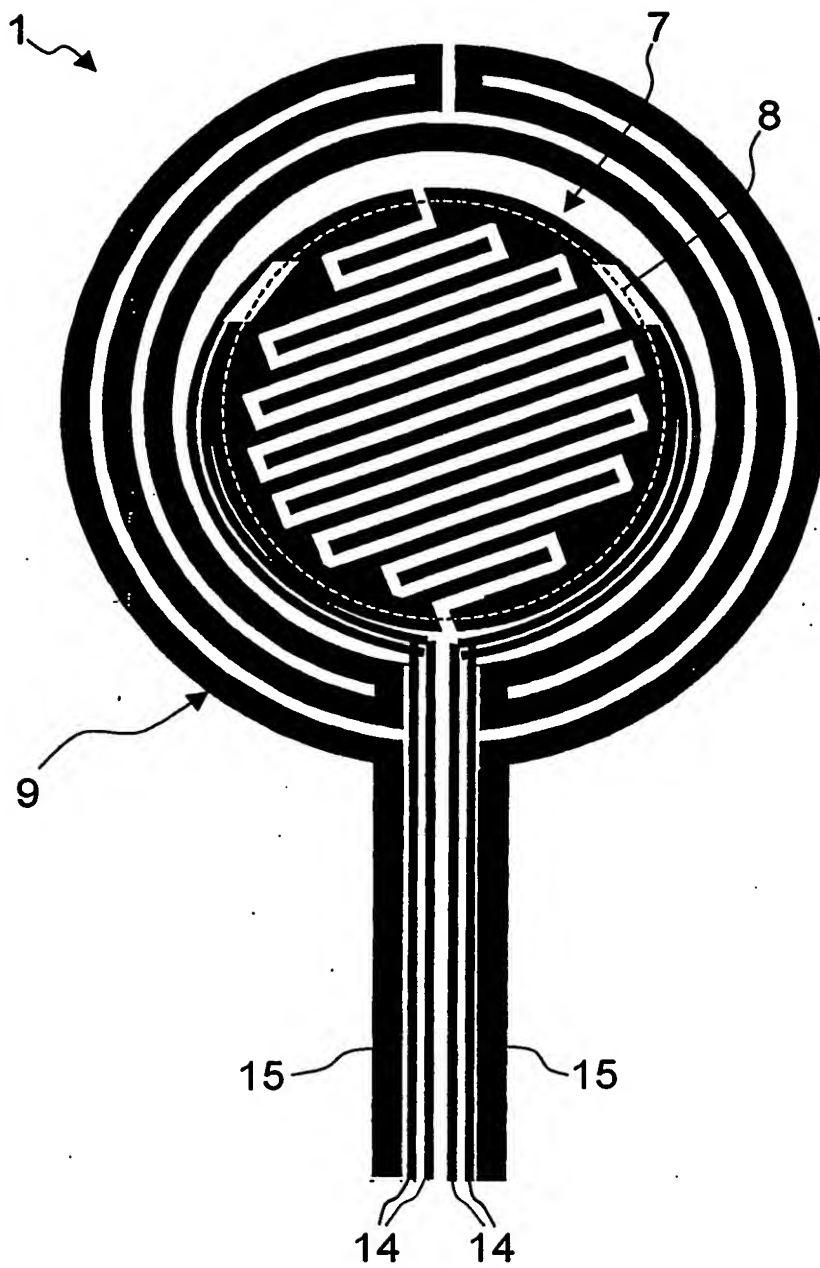


Fig. 1

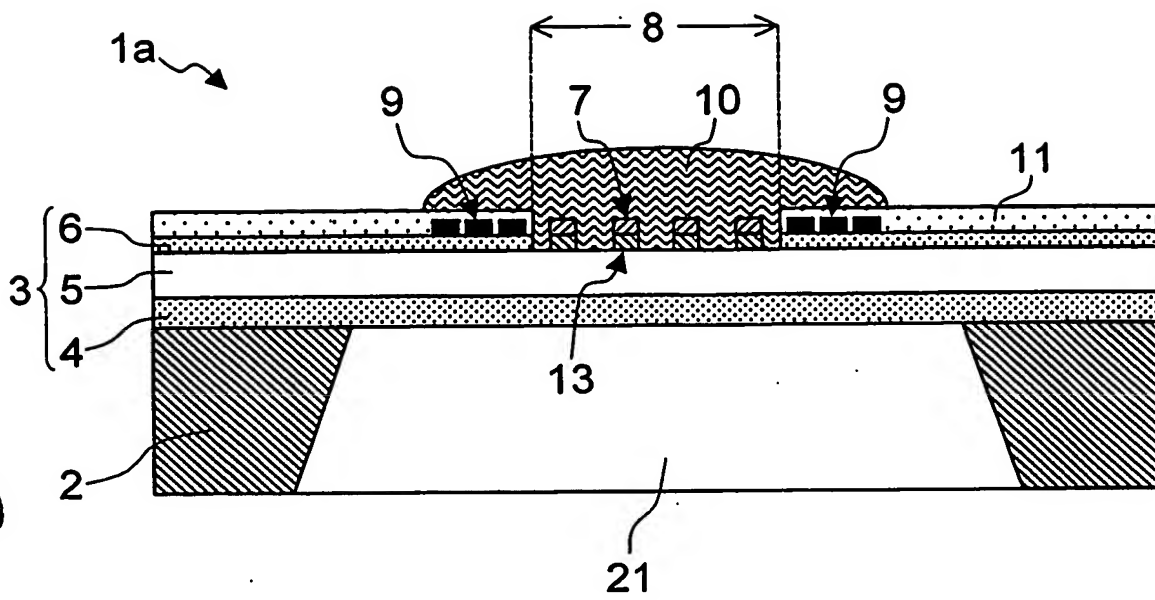


Fig. 2

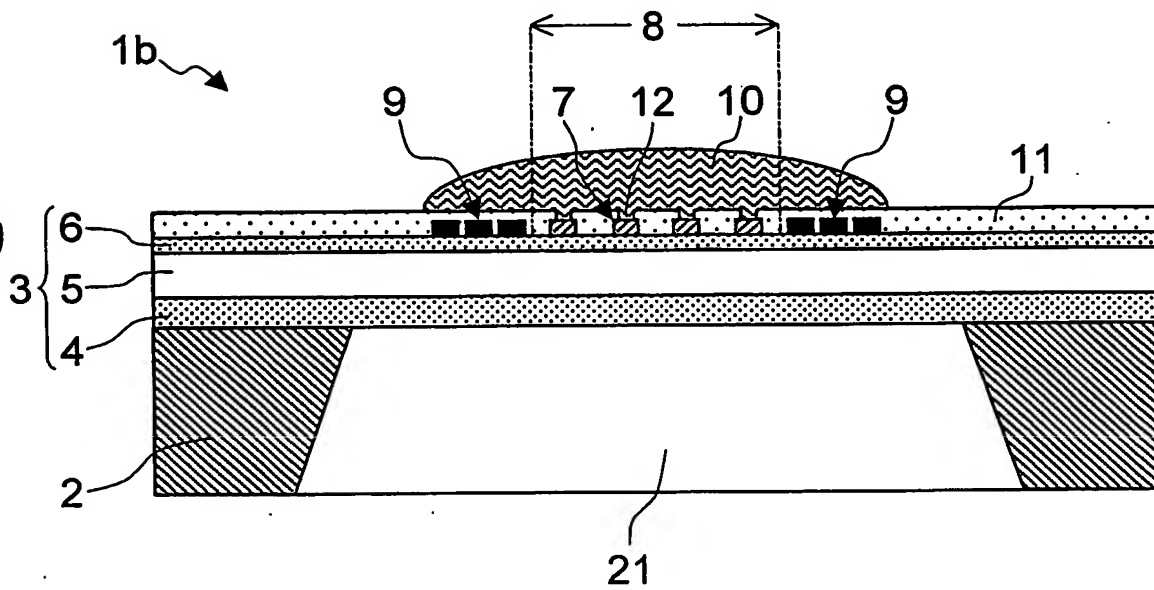


Fig. 3

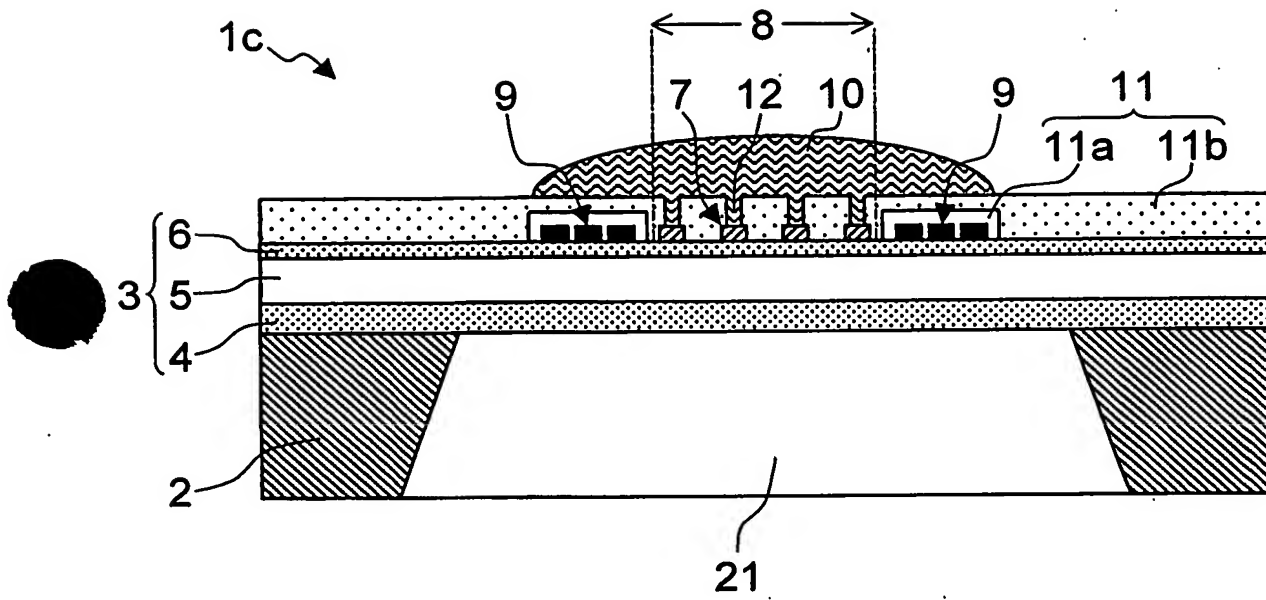


Fig. 4